

**Coleta da qualidade de experiência do usuário - abordagem CAARF-SDN****Experience quality collection of the user - CAARF-SDN approach**

Recebimento dos originais: 05/12/2018

Aceitação para publicação: 07/01/2019

**Heitor Santos de Souza**

Bacharel em Ciências da Computação pela UniRuy Universidade Ruy Barbosa

Instituição: UniRuy Universidade Ruy Barbosa Salvador/BA/Brasil

Endereço: Av. Luis Viana Filho, 3230 - Paralela Salvador - BA

E-mail: [heitormail1@gmail.com](mailto:heitormail1@gmail.com)**Francisco José Badaró Valente Neto**

Especialista em Redes de Computadores / Professor UniRuy

Instituição: UniRuy Universidade Ruy Barbosa Salvador/BA/Brasil

Endereço: Av. Luis Viana Filho, 3230 - Paralela Salvador - BA

E-mail: [fjbvneto@gmail.com](mailto:fjbvneto@gmail.com)**RESUMO**

O uso intensivo das redes de computadores baseadas em IP, e a crescente demanda de utilização das aplicações de tempo real como VoIP e outras aplicações multimídia, intensifica a coexistência de tráfegos distintos na rede e a necessidade de um melhor gerenciamento dos recursos da infraestrutura. Observa-se, portanto a necessidade de uma transformação na maneira em que as redes devem se comportar, onde as decisões de encaminhamento devem ser centradas nas aplicações e em consequência ter como foco o usuário; e a Qualidade de Experiência (QoE) é fundamental para essa mudança pois muda o foco da avaliação de qualidade, da rede para o usuário. O arcabouço Context-AwareAdaptative Routing Framework (CAARF) e mais especificamente, a sua implementação baseada em redes definidas por software (CAARF-SDN), compõe uma solução de otimização de rede sensível a contexto proposta de forma a viabilizar o encaminhamento do tráfego de rede baseado em informações de contexto de forma dinâmica.

**Palavras-chave:** Qualidade de Usuário; Qualidade de Experiência; SDN; CAARF; Redes orientadas a contexto.

**ABSTRACT**

The intensive use of IP-based computer networks and the increasing demand for use of real-time applications such as VoIP and other multimedia applications intensifies the coexistence of distinct traffic on the network and the need for better management of infrastructure resources. Therefore, the need for a transformation in the way in which networks must behave, where routing decisions must be application-centric and hence user-focused; Quality of Experience (QoE) is fundamental to this change as it changes the focus of quality assessment from the network to the user. The Context-Aware Adaptive Routing Framework (CAARF), and more specifically, its implementation based on software-defined networks (CAARF-SDN), composes a proposed context-sensitive network optimization solution to enable the routing of traffic based on context information dynamically.

**Key-words:** User Quality; Quality of Experience; SDN; CAARF; Context-oriented networks.

## 1 INTRODUÇÃO

O surgimento de novas aplicações e a demanda crescente por recursos, levou a coexistência de tráfegos distintos na rede [Tanenbaum e Wetherall 2011] e [Kurose e Ross 2013]. Observando esta evolução da utilização da rede onde fluxos de aplicações elásticas, a exemplo de http/web, e-mail e transferência de arquivos, coexistem com aplicações multimídia sensíveis a variações de rede, a exemplo de VoIP, torna-se importante observar os contextos aos quais as aplicações precisam ter disponíveis para que possam ser utilizadas de forma adequada. Considerando que as soluções de otimização tradicionais de Qualidade de Serviço (*QoS*) são baseadas em métricas orientadas à rede, tais como, largura de banda (*throughput*), atraso (*delay*), variação de atraso (*jitter*), perda de pacotes (*packetloss*) e confiabilidade (*reliability*) [El-Gendy et al. 2003], e que tais métricas são consideradas insuficientes para atender as expectativas das aplicações e principalmente as expectativas dos usuários [Tsolkas et al. 2017].

Observa-se, portanto, a necessidade de uma transformação na maneira em que as redes devem se comportar e serem construídas, onde o usuário final deve estar no centro de decisão e a Qualidade de Experiência do usuário (*QoE*) é fundamental para esta mudança. O arcabouço CAARF [Neto et al. 2018] (*Context-Aware Adaptive Routing Framework* - Framework de Roteamento Adaptativo Sensível ao Contexto) foi proposto de forma a viabilizar as tomadas de decisão de encaminhamento de dados baseado em contexto, tornando possível para a otimização de tráfego, a avaliação não somente dos parâmetros oriundos do *QoS* como também parâmetros como a capacidade de processamento e memória de um dispositivo oriundos do *QoD* (*Quality of Device*) a qualificação do dispositivo, métrica que [Neto et al. 2018] está relacionada com o fornecimento de informações sobre características técnicas de cada elemento de rede e suas capacidades, estando diretamente relacionada com a precisão e capacidade física do elemento de rede no qual as informações de contexto são coletadas. Dentre as métricas de *QoD* possíveis de serem analisadas estão a carga de processador, a carga de memória, carga de bateria e o posicionamento GPS (*Global Positioning System*) [Neto et al. 2018]. E finalizando, o nível de satisfação geral com o serviço como percebido subjetivamente pelo usuário final oriundo do *QoE* (*Quality of Experience*) [Neto et al. 2018] que é o foco deste trabalho. Para que a validação da solução de coleta de experiência do usuário fosse possível foram definidos os seguintes objetivos específicos para este trabalho:

- Propor um modelo funcional para realização do cálculo de *QoE* (Baseado em *RFactor* (*Rating Factor* - (*Fator R*) e *MoS* (*Mean Opinion Score* - *Pontuação de opinião média*)), que são duas medidas comumente usadas para a mensuração da qualidade de voz, definido pelo *ITU-T*, tendo como base os dados de contexto e fórmula propostas pelo projeto Caarf-SDN em [Neto et al. 2018];
- Desenvolver e implementar um protótipo para realização dos cálculos para estimativa de *QoE*;
- Ilustrar o funcionamento do protótipo implementado e publicar o resultado.

## 2 MODELO DE ESTIMATIVA DO QOE (Quality of Experience)

No Caarf-SDN a estimativa de *QoE* é feita através de uma fórmula proposta como adaptação ao E-Model do ITU-T [ITU-T 2015], proposta em [Neto et al. 2018] levando em consideração o contexto de comutação de pacotes e as métricas de *QoS*. A figura 1 ilustra a equação sugerida pelo modelo E-model para derivação do valor de *MOS*.

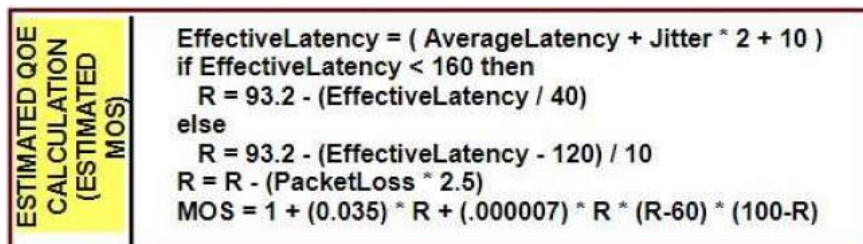
Figura 1. Equação de estimativa E-Model

$$\begin{aligned} \text{For } R < 0: & \quad \text{MOS}_{\text{CQE}} = 1 \\ \text{For } 0 < R < 100: & \quad \text{MOS}_{\text{CQE}} = 1 + 0.035R + R(R - 60)(100 - R)7 \cdot 10^{-6} \\ \text{For } R > 100: & \quad \text{MOS}_{\text{CQE}} = 4.5 \end{aligned}$$

Fonte: [ITU-T 2015]

Dessa forma, a fórmula proposta em [Neto et al. 2018] e ilustrada na figura 2, em um primeiro momento calcula o valor de *R-Factor* considerando como entrada para sua estimativa a média do atraso *RTT* (*AverageLatency*), a variação de atraso (*Jitter*) e a porcentagem de pacotes perdidos (*Packetloss*). Fatores que comprometem a qualidade em um fluxo de voz. E em um segundo momento, aplica o valor retificado de *R-Factor*, à equação fornecida pelo modelo E-model do ITU-T, para calcular o valor de *MOS*.

Figura 2. Algoritmo de estimativa *MOS*



Fonte: [Neto et al. 2018]

No algoritmo é definido um valor chamado de latência efetiva (EffectiveLatency) como a combinação de métricas de atraso e jitter que caso seja maior que o valor de atraso de 160 milissegundos penaliza o R-Factor.

### 3 PROTÓTIPO DA SOLUÇÃO

A solução proposta para coleta da qualidade de experiência trata-se de um agente, batizado de QoEEstimator, que funciona como um serviço, estimando a qualidade de experiência de forma ativa ao receber uma mensagem de requisição de QoE no Caarf-SDN, através do envio de pacotes UDP entre um par de agentes, que são utilizados para estimar os valores de latência (RTT), jitter e a perda de pacotes esperadas pela fórmula proposta para estimação de QoE.

O protótipo inicial foi implementado utilizando a linguagem C# e o framework .NET que expõe a funcionalidade da API Windows Socket 2 a aplicações através de algumas classes com socket datagram (UDP).

As mensagens que são trocadas entre os agentes da aplicação são mensagens em texto, onde a mensagem é formatada utilizando um caractere especial utilizado como delimitador, para que o agente possa analisar o texto recebido e processar a mensagem de acordo com o tipo de mensagem identificada. A figura 3 ilustra o formato típico da mensagem onde o primeiro campo é utilizado para definir o tipo da mensagem sendo enviada, o segundo campo contém o caractere utilizado para delimitar a string e o terceiro campo representa o restante da mensagem que possui formato definido de acordo ao tipo de mensagem sendo enviada.

Figura 3. Formato da mensagem *UDP* do agente

<TIPO_DE_MENSAGEM>	<CARACTER_DELIMITADOR>	<RESTO_DA_MENSAGEM>
--------------------	------------------------	---------------------

Fonte: Elaboração própria

A figura 4 ilustra o formato da mensagem de requisição de *QoE* onde o tipo está definido como *CAARF\_REQUEST* representando a mensagem de requisição de *QoE*, o IP do agente remoto, a porta e o tamanho padrão de *payload* utilizado para a estimação de *QoE*. Nela o caractere | é utilizado como delimitador dos campos da mensagem.

Figura 4. Formato da mensagem de requisição de *QoE*

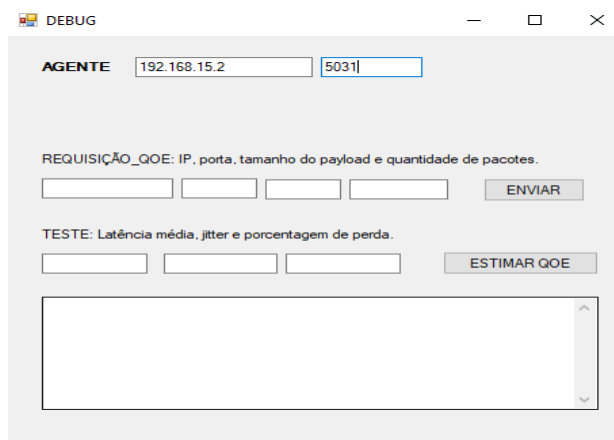
CAARF_REQUEST 192.168.15.1 5070 0 1500
--

Fonte: Elaboração própria

Alternativamente o cálculo das métricas de *QoE* pode ser feito baseado em entradas pré-definidas de latência média, *jitter* e perda de pacotes estimando o *QoE* sem a necessidade do envio dos pacotes *UDP*. A figura 5 ilustra a aplicação auxiliar desenvolvida onde a mensagem de

requisição de *QoE* pode ser gerada inserindo os parâmetros para estimativas como o tamanho do *payload* e a quantidade de pacotes.

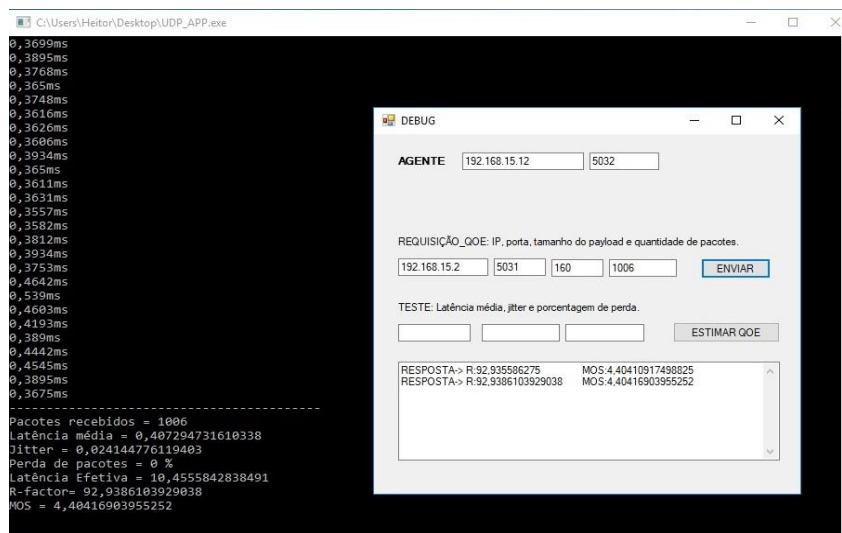
Figura 5. Aplicação auxiliar utilizada para geração de mensagens



Fonte: Elaboração própria

A figura 6 ilustra o software proposto em funcionamento, com a geração de tráfego de teste e a respectiva estimativa de *QoE*, em experimento de validação e testes comparativos com a ferramenta StarTrinity [Startrinity 2018], uma ferramenta de mercado escolhida para mensuração e testes de qualidade de voz em redes IP, utilizada para comparativo de resultados.

Figura 6. Ilustração dos resultados no *QoE Estimator* (Agente)

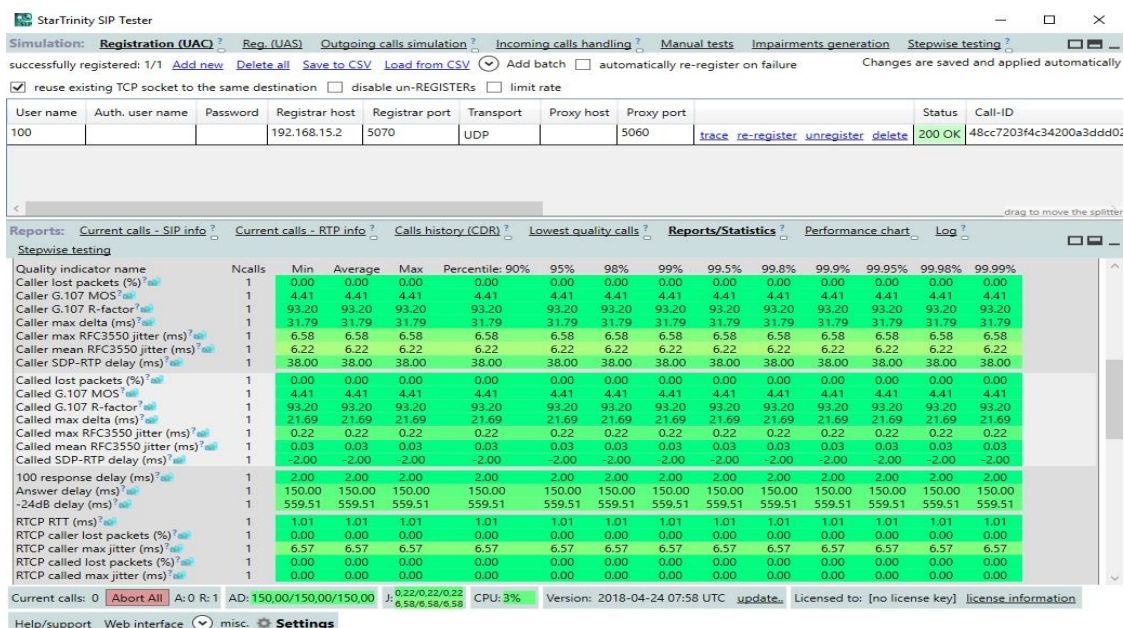


Fonte: Elaboração Própria

A figura 7 ilustra os resultados do software StarTrinity [Startrinity 2018] para experimento comparativo com o *QoE Estimator*.

Figura 7. Ilustração dos resultados no Startrinity





Fonte: Elaboração Própria

A tabela 1 apresenta de forma resumida os resultados obtidos pelo experimento comparativo que estimou a qualidade de experiência, para comparar o *QoEEstimator* com o StarTrinity [Startrinity 2018] conforme os requisitos propostos para a validação do experimento proposto.

Tabela 1. Resultados do experimento comparativo

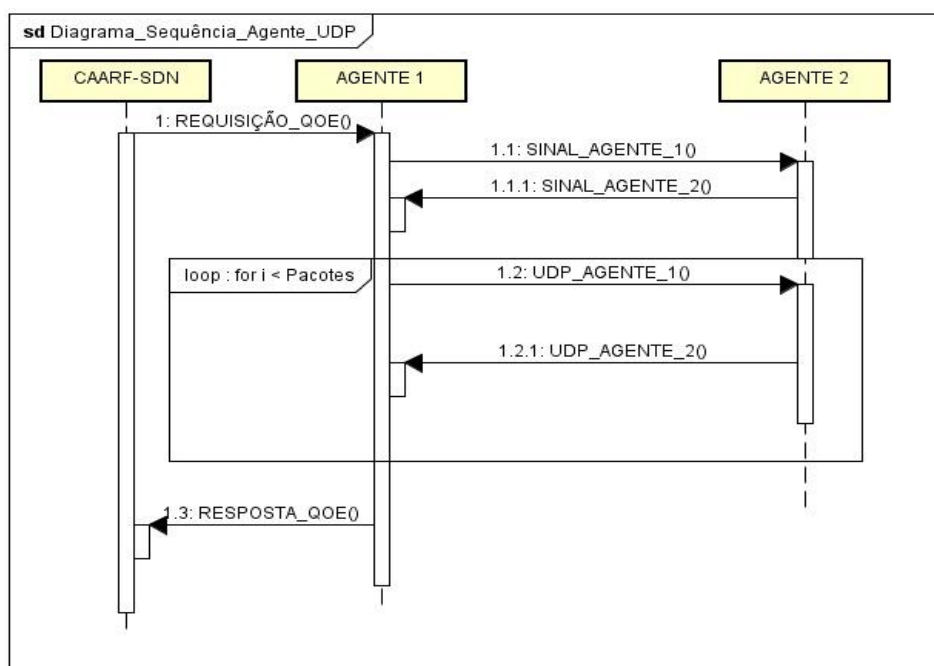
Software	R-FACTOR	MOS-CQE
Agente QoEEstimator	92,938610	4,404169
StarTrinity SIP Tester	93,20	4,41

Fonte: Elaboração Própria

Podemos observar analisando os resultados obtidos pelo experimento, conforme a tabela 1, que as métricas de *QoE* estimadas pela solução desenvolvida se mantém bastante similares independentemente do número de pacotes utilizado, apresentando apenas uma pequena variação devido a variação das métricas de *QoS*, de *jitter* e latência, enquanto a porcentagem de perda de pacote de manteve em zero em ambas as amostragens. Por fim, quando comparados os valores obtidos pela solução desenvolvida *QoEEstimator* que utiliza uma equação adaptada do modelo E-model valores similares são obtidos para as métricas de *QoE R-Factor* e *MoS* indicando a sua potencial utilização no monitoramento e mensuração da qualidade de experiência.

A figura 8 ilustra o comportamento do agente durante a sua execução ao receber uma mensagem de requisição de *QoE*.

Figura 8. Diagrama de sequência do agente UDP



Fonte: Elaboração Própria

Ao receber uma mensagem de requisição de *QoE*, que contém o endereço IP de outro agente remoto na rede, o agente 1 envia uma mensagem que funciona como um sinal utilizado para verificar se o agente 2 está ativo e recebendo mensagens. Ao receber a mensagem de sinalização do agente 1 o agente 2 envia uma nova mensagem de sinal que indica ao agente 1 que ele está ativo e pode iniciar o envio dos pacotes *UDP*.

Com esta confirmação o agente 1 inicia o processo de envio e recebimento dos pacotes *UDP* que são utilizados para calcular a latência (*RTT*), *jitter* (variação do atraso) e a perda de pacotes através de um *loop* definido pela quantidade de pacotes definidos na mensagem de requisição de *QoE*. Dessa forma o agente, a partir do recebimento de uma mensagem de requisição de *QoE*, calcula a latência (*RTT*) e a perda de pacotes através do envio síncrono de pacotes *UDP* a outro agente remoto indicado pelo Caarf-SDN em sua mensagem de requisição e o *jitter* através da média das diferenças absolutas de atraso dos pacotes. Por fim as métricas de *QoE*, *R-Factor* e *MOS* são então estimadas utilizando o algoritmo ilustrado na figura 2. Todo o código da aplicação está disponível no GitHub em <https://github.com/caarfsdn/qoeestimator>. O projeto Caarf-SDN mantém em <https://www.researchgate.net/project/CAARF-SDN/> todos os dados do projeto devidamente atualizados inclusive dos experimentos realizados, os resultados e as publicações feitas. Também no Github, <https://github.com/caarf-sdn> todas as aplicações e código desenvolvido no projeto Caarf-SDN é disponibilizado como software livre, permitindo assim o trabalho comunitário de expansão e melhorias.

**4 CONCLUSÕES**

Este artigo propôs uma aplicação para o cálculo do *QoE* (*MOS* estimado), baseado nas informações de rede (Métricas de *QoS*) e fórmula proposta em [Neto et al. 2018] para estimativa de *QoE* e observada a efetividade da mesma em testes comparando os resultados da estimativa de *QoE* (*MOS* Estimado) realizada por ela em comparação a mesma estimativa realizada com o software de mercado, Startrinity [Startrinity 2018], sob um mesmo cenário/topologia e condições de rede. Como trabalho futuro está planejado o *refactoring* da aplicação para plataforma *web* (nodeJS) com interação via API Rest. Também é proposta a ampliação das funcionalidades, considerando também para a estimativa de *QoE* o codec utilizado com uma diversidade de opções para melhor aferição (suporte a G.729, G.723, iLBC) e métrica de *QoD* (carga de cpu e carga de memória), demandando assim também de uma nova abordagem na fórmula proposta e novos esforços de desenvolvimento além de um aprofundamento da pesquisa em função das diferenças entre os *codecs*, seus aspectos, especificações e complexidades.

**REFERÊNCIAS**

- TANENBAUM, A. S; WETHERALL, D.J. **Redes de Computadores**. 5ª Ed, Pearson, 2011.
- KUROSE, J. F.; ROSS, K. W. **Redes de Computadores, Uma Abordagem Top-Down**. 6ª Ed. Pearson, 2013.
- EL-GENDY, M.A.; BOSE, A.; SHIN, K.G. **Evolution of the Internet QoS and Support for Soft Real-Time Applications**. 2003. Disponível em: <<http://www.dca.ufrn.br>>. Acesso em: 28/05/2018.
- TSOLKAS, D.; LIOTOU E.; PASSAS, N.; MERAKOS, L. **A Survey on Parametric QoE Estimation for Popular Services**. 2017. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com>>. Acesso em: 28/05/2018.
- NETO, F. J. B. V.; MIGUEL, C. J.; SANTOS, J. A.; SAMPAIO, P.N.M. **Context-based Dynamic Optimization of Software Defined Networks**. 2018 International Workshop on ADVANCES in ICT Infrastructures and Services (ADVANCE' 2018). Santiago, Chile. 11 e 12 de janeiro de 2018.



ITU-T. G.107 : **The E-model: a computational model for use in transmission planning**. 2015.

Disponível em: <<https://www.itu.int/rec/T-REC-G.107-201506-I/en>> Acesso em: 28/05/2018.

STARTRINITY. **StarTrinity SIP Tester™ (call generator, simulator) -VoIP monitoring and testing tool, VoIP recorder**. Disponível em:

<<http://startrinity.com/VoIP/SipTester/SipTester.aspx>> Acesso em: 28/05/2018.